

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Sušák na prádlo

Clotheshorse

Student:

Pavla Hajdová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Hrudíčková Milena, Ph.D

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student:	Pavla Hajdová
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma:	Sušák na prádlo Clotheshorse

Zásady pro vypracování:

Navrhněte skládací sušák na prádlo, který pojme minimálně 6 kg suchého prádla. Sušák je určen pro domácí použití.

Zpracujte rešerši zaměřenou na problematiku domácích sušáků různých typů. Na základě vlastní hodnotové analýzy navrhněte vhodné provedení sušáku.

Proveďte konstrukční návrh sušáku a doplňte nezbytnými pevnostními výpočty.

Zpracujte výkres sestavení v rozsahu minimálně A1 a dílenské výkresy vybraných dílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000.

BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I - Spoje*. VUT Brno, 1987.

BOLEK, A. A KOL.: *Části strojů - svazek 1*. SNTL Praha, 1990.

NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.

KŘÍŽ, R.: *Strojnické tabulky II - Pohony*. Montanex a.s., Ostrava, 2002.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997, 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996, 32 s.

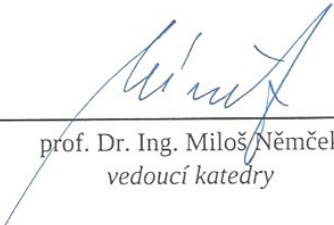
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Hrudičková, Ph.D.**


Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013





prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Pavla Hajdová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Zděchov 207, okres Vsetín, 756 07

Anotace bakalářské práce

HAJDOVÁ, P. *Sušák na prádlo*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2013, 37 s. Vedoucí práce: Ing. Hruďčková Milena, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá tématem sušáku na prádlo. Rešerše je zaměřena na rozdělení sušáků na prádlo podle možnosti nastavení polohy jednotlivých dílů a podle materiálů umožňujících tato nastavení. V další části se zabývám požadavky na provedení sušáku na prádlo, zjištění rozměrů z ergonomické studie. Dále se věnuji návrhu sušáku v grafických programech. Závěr bakalářské práce se věnuje popisu konstrukce sušáku a výpočtům zadaných komponentů.

Annotation of Bachelor's Thesis

HAJDOVÁ, P. *Clotheshorse*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machine parts and mechanisms, 2012, 37 s. Thesis head: Ing. Hruďčková Milena, Ph.D.

This thesis deals with the clotheshorses. Search is focused on the distribution of clotheshorses if possible positioning of parts and materials by enabling this setting. The next section deals with the requirements for the clotheshorses, gathering dimensions of ergonomic studies. Then I write clotheshorses in graphic design programs. The conclusion of this thesis is devoted to the description of construction and calculations specified components.

Poděkování

Děkuji paní Ing. Mileně Hrudíčkové, Ph.D. za velmi užitečnou a odbornou pomoc, kterou mi poskytla při zpracování mé bakalářské práce.

Seznam použitých symbolů a zkratek

l, a, b, c, z	délkové parametry	mm
$d_{1,2}$	průměr čepu	mm
G	gravitační zrychlení	$m.s^{-2}$
m_c	celková hmotnost	kg
m_{mpr}	hmotnost mokrého prádla	kg
m_s	hmotnost sušáku	kg
m_{ne}	nečekaná hmotnost	kg
F, F_1, F_2, F_{ramene}	síla	N
F_G	tíhová síla	N
F_{kr}	kritická síla	N
F_{mpr}	síla mokrého prádla	N
F_{spr}	síla suchého prádla	N
F_s	síla sušáku	N
F_c	celková síla	N
F_{ne}	nečekaná síla	N
K	statická bezpečnost	-
M_o	ohybový moment	N.mm
R_e	mez kluzu v tahu (tlaku)	MPa
S, S_1, S_2, S_3, S_4	plocha	mm^2
Π	Ludolfovo číslo	-
σ_{DOV}	dovolené napětí v ohybu	MPa
σ_o	napětí v ohybu	MPa
σ_t	napětí v tahu	MPa
σ_{kr}	napětí kritické	MPa
P	tlak	MPa
W_o	modul odporu průřezu v ohybu	mm^3
τ_{DOV}	dovolené napětí ve smyku	MPa

τ_s	napětí ve smyku	MPa
$J^{I,II,II}$	moment setrvačnosti	mm ⁴
J^U	celkový moment setrvačnosti	mm ⁴
E	modul pružnosti v tahu	MPa
I	minimální moment setrvačnosti příčného průřezu	m ⁴
I	poloměr setrvačnosti průřezu	-
Λ	štíhlost prutu	-
D, d	průměr duralové trubky	mm
M	délkový součinitel	-
i_{red}	redukováná délka prutu	-

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Rešerše – rozdělení	11
2.1.	Dle druhu konstrukce	12
2.2.	Dle materiálu konstrukce	14
3.	Požadavky na provedení	16
4.	Ergonomická studie	17
4.1.	Studie výšky pracovní plochy	17
4.2.	Optimalizace rozměrů pracovní plochy	18
4.3.	Studie umístění ovládacích prvků	18
5.	Návrh koncepce řešení	19
6.	Stanovení zatížení sušáku	20
7.	Návrh koncepce řešení	21
7.1.	Návrh průměru čepu	21
7.2.	Kontrola ramene	26
7.3.	Vzpěr tyče	28
8.	Vizualizace v grafických programech	30
9.	Závěr	34
10.	Seznam použité literatury	35
11.	Seznam příloh	37

1. Úvod

Tato práce rozpracovává téma skládacího sušáku na prádlo. Téma bylo vybráno na základě přímé konfrontace s ergonomicky nevyhovujícím sušákem na prádlo v bytě. Po bližším prozkoumání nabídky trhu bylo zjištěno, že nabídka je dosti široká. Šíře nabídky se zaměřuje především na rozdílnou konstrukci, rozdílné možnosti nastavení a použití.

Cílem práce bylo navrhnout moderní řešení sušáku na prádlo pro domácí použití, které by splňovalo požadavky trhu. Současně by tento sušák měl stmelit přednosti současných sušáků a pokusit se odstranit jejich nevýhody.

V úvodní části práce byly sestaveny požadavky, které má sušák na prádlo splňovat. Minimalizace prostoru pro uschování sušáku byl jeden z hlavních předpokladů k vyřešení. Mobilita v takovém případě není realizovatelná, proto je sušák určen pro menší prostory nad vanou či pračkou. Poměrně snadná možnost přitáhnutí a následné zvednutí sušáku s mokrým prádlem nasvědčuje tomu, že je primárně určen pro jakéhokoliv člověka. Doplňujícím požadavkem byl nový moderní design.

V závěru práce byly sumarizovány poznatky z jednotlivých kapitol a postup při plnění stanovených cílů.

2. Rešerše - rozdělení

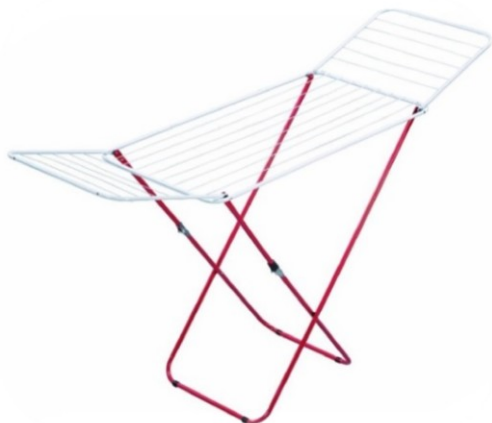
Sušáky na prádlo můžeme kategorizovat.



2.1. Dle druhu konstrukce

Pevné

Pevná konstrukce sušáků má značné výhody hlavně z hlediska tuhosti, celkové nosnosti sušáku a kapacity možného prádla. Takový typ můžeme najít venku pevně zakotvený do země viz Obr. 2. Dnes trh nabízí i skládací konstrukci, díky čemuž umožňuje i jistou mobilitu viz Obr. 1.



Obr. 1 Sušák na prádlo značky Leifheit (8)



Obr. 2 Venkovní sušák na prádlo LinoLift 500 (9)

Skládací

Sušáky se složitelnou konstrukcí (Obr. 1) mají výhody, že jsou lehké a snadno přepravitelné, ale s tím souvisí nevýhody – nižší nosnost. Sušák má možnost vyklopit bočnice pro sušení dlouhého prádla, má trubkové nohy a je opatřen drátěným výpletem pro zavěšení prádla. Existují i menší druhy tohoto provedení.

Další varianta je dvouramenný sušák na prádlo viz Obr. 3 s nastavením až ve 12 různých polohách. Má výklopné bočnice a používá se na vany.



Obr. 3 Sušák na prádlo PEGASUS V Duo – teleskopický (10)

Závěsný

Prostorově úsporný sušák na prádlo, který v tomto případě má 5 sušících tyček viz Obr. 5, je odolný povětrnostním vlivům a i proto vhodný pro použití na venkovní stropy. S touto technikou se dále pracuje v této bakalářské práci.



Obr. 4 Sušák na prádlo QUARTETT Duo teleskopický (11)



Obr. 5 Sušák prádla CEV 5MP007 (12)

Existuje i teleskopický závěsný sušák na prádlo viz Obr. 4, který je vhodný na topení, okno, dveře. Díky jeho zavěšení je efektivní a nezabírá příliš místa. Vhodný pro drobnější druhy prádla.

Nástěnný

U tohoto druhu viz Obr. 6 je důležitá aretace sušáku ve vytažené poloze, a automatické navíjení šňůr. Výhodou je maximální šetření prostoru, nevýhodou manipulace při vysouvání a zasouvání šňůr.



Obr. 6 Sušák ROLLFIX 210 (13)

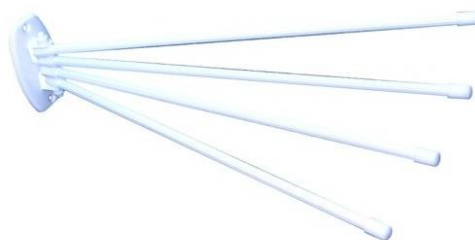
2.2. Dle materiálu konstrukce

Hliník

Většina konstrukcí je tvořena hliníkovými trubkami viz Obr. 7. Sušáky jsou odolnější a stabilnější.



Obr. 7 Sušák na prádlo CAPR (14)



Obr. 8 Sušák prádla CEV 5MP002 (15)

Plast

Dnešní trh nabízí i velmi pevné provedení sušáků na prádlo s plastovou konstrukcí viz Obr. 8.

Dřevo

Dřevěná konstrukce, evokuje přírodu a splývá s venkovním prostředím. Plně funkční dekorace k rodinnému domu, nebo na chalupu (Obr. 9).



Obr. 9 Sušák na prádlo z masivu (16)

3. Požadavky na provedení

U sušáku na prádlo se předpokládá, že v bytových jednotkách nezabírá příliš prostoru, je skladný nebo aspoň esteticky nevadí v daném prostředí. Náš příklad věšáku je umístěn nad vanou nebo pračkou, hlavně z hlediska šetření prostoru.

Sušák by měl splňovat tyto podmínky:

- minimalizace možného překážení sušáku v prostoru
- poměrně snadná možnost přitáhnutí a následnému zvednutí sušáku s mokrým prádlem
- nový design

Většina sušáků na prádlo má konstrukci skládací s možností jisté mobility na různá místa, v takovém případě je hlavně nutnost nějaké to místo mít. Z pravidla takový sušák překáží v prostoru. Umístění sušáku by mělo využít místa v bytě, která se jen těžko dají využít, a přitom bude sušák poměrně snadno přístupný.

Jedním z hlavních předpokladů je možnost manipulace se sušákem umístěným na stropě, která má umožnit co nejpohodlnější obsluhu při zachování skladnosti a úspory místa.

Mobilita v takovém případě není realizovatelná, zejména kvůli hmotnosti prádla rozvěšeného na věšáku. Předpokládá se stacionární umístění na stropě s tím, že bude řešena možnost výškové manipulace se sušákem – pro rozvěšení prádla přitáhnout sušák blíže uživateli, po naplnění opět zvednout sušák ke stropu, nejlépe tak vysoko, aby se případně dal prostor pod sušákem využívat.

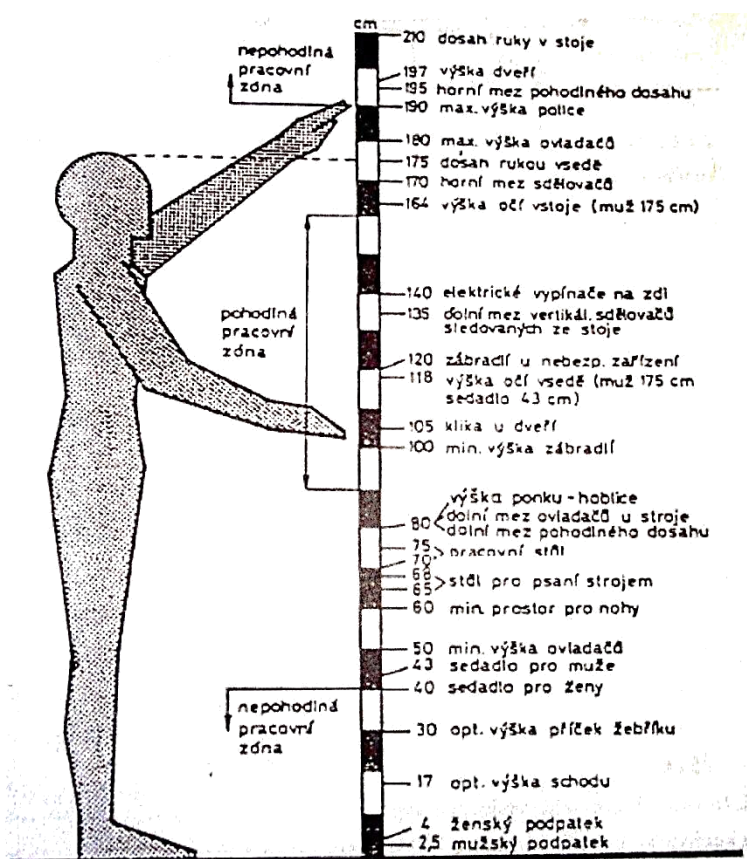
4. Ergonomická studie

U sušáků na prádlo můžeme rozdělit ergonomickou studii do čtyř skupin. Do první skupiny zapadá výškové nastavení pracovní polohy sušák na prádlo, druhá optimalizuje rozměry samotné plochy sušáku, další umístění ovládacích prvků a poslední řešení snadnou manipulací se sušákem včetně prádla.

Navržený sušák je umístěn nad vanou. Toto místo je zvoleno z důvodu úspory místa. Většina domácností v bytových jednotkách, mívají problém s místem, ale prostoru může být nedostatek i v sušárnách. Proto je můj návrh umístěn na stropě.

4.1. Studie výšky pracovní plochy

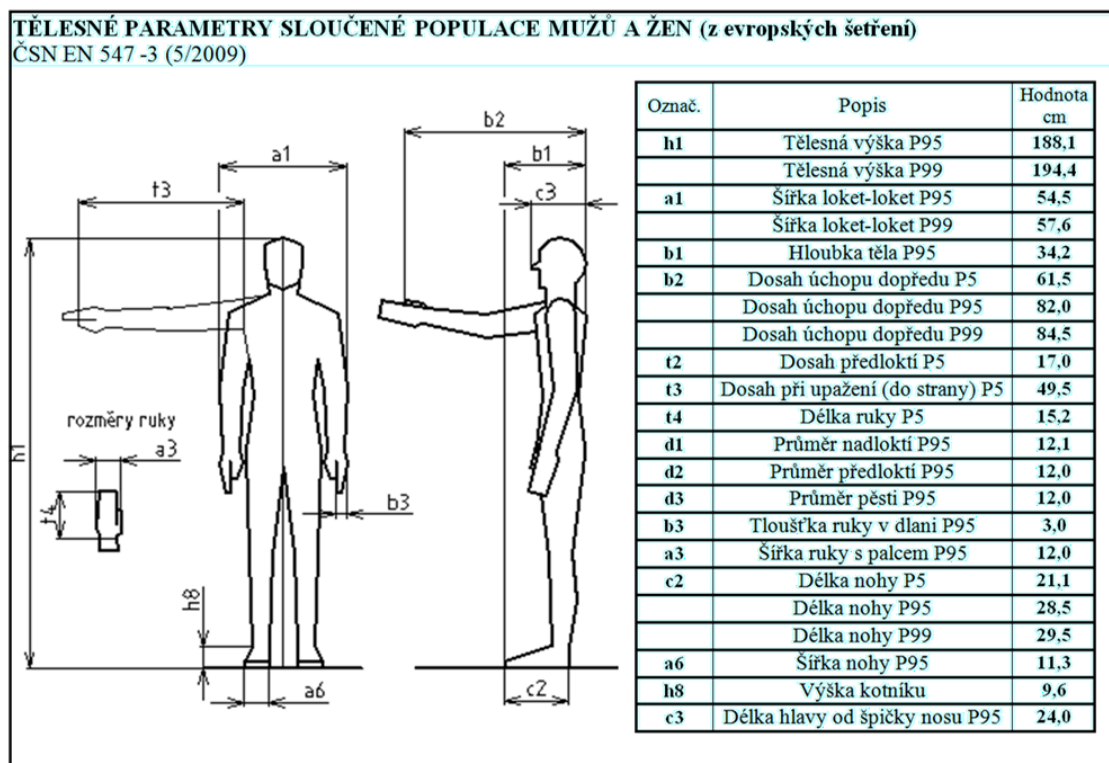
Výška pracovní plochy musí být nastavitelná v rozsahu takovém, aby se v nejnižší poloze svěšeného sušáku dalo poměrně snadno manipulovat s věšením prádla a zároveň aby byla snadná manipulace s naplněným sušákem při jeho vytahování ke stropu. Tuto manipulaci musí zvládnout i uživatel menší postavy. Při studii bylo vycházeno z výškového rozměru nejmenšího člověka a z optimální výšky pracovní plochy při práci vestoje (Obr. 10). Z uvedených údajů se došlo k závěru, že výškové nastavení sušáku by mělo pokrýt výškový rozsah od 80 cm do 190 cm.



Obr. 10 Výškové údaje pro manipulaci (3)

4.2. Optimalizace rozměrů pracovní plochy

Rozměry pracovní plochy vychází ze základních rozměrů lidské postavy. Výška pracovní plochy je závislá na výšce člověka (Obr. 11). Z důvodu neustálého zvyšování výškového průměru obyvatelstva bylo přidáno k tabulkové hodnotě (Tabulka 1) 5% hodnoty.



Obr. 11 Základní tělesné rozměry člověka (3)

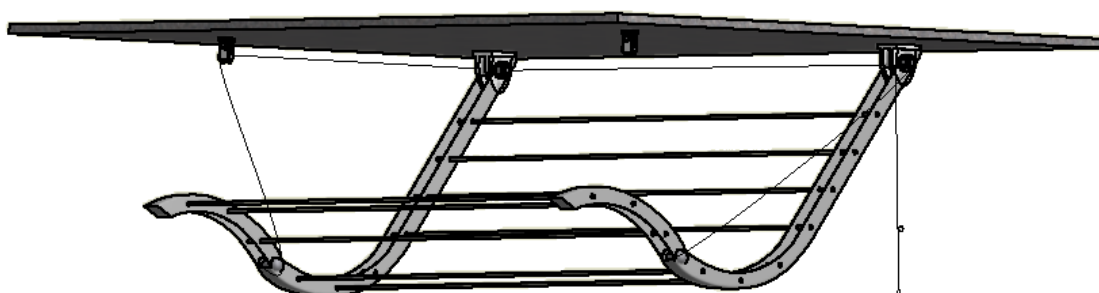
4.3. Studie umístění ovládacích prvků

Ovládací prvky musí být umístěny tak, aby bylo možné ovládat výškové nastavení sušáku bez problémů. Dále nesmí překážet při koupeli, protože tento sušák může být umístěn nad vanou.

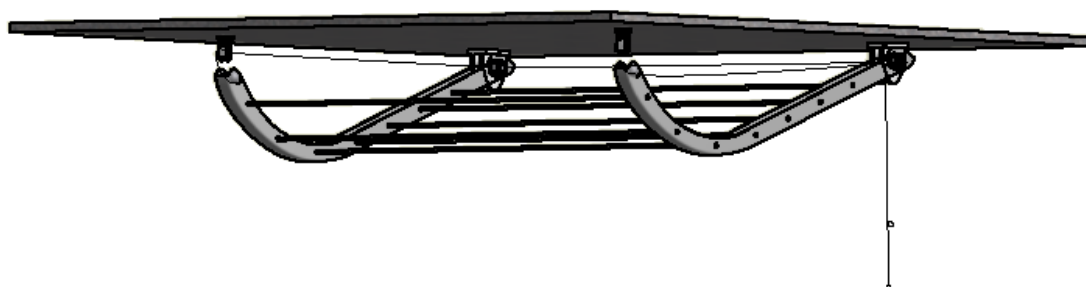
5. Návrh řešení konstrukce

Nejprve jsem vycházela z konstrukce, která je realizována viz Obr. 5, tedy ukotvena na stropě. Tato konstrukce je jednoduchá a vizuálně zajímavá. Jedná se o prostorově úsporný sušák na prádlo, který je vhodný pro montáž nad vanu či pračku.

K závěrečné variantě jsme se dopracovali postupnými návrhy a eliminací různých předchozích variant. Celý sušák má působit vzdušně a zároveň stabilně. Konečná varianta konstrukce je realizována s otočnými rameny, které po sklopení dopředu zvětší užitnou plochu sušáku. Tvary rámu a sklopených ramen vykazují stejné obloukovité prvky, které tak tvarově propojují jednotlivé komponenty a tvoří z něj vizuálně zajímavý celek. Ramena tvoří dutý výlisek tvaru U. V jehož vnitřním prostoru na volném konci je opěrka, o kterou se opírá druhé otočné rameno.

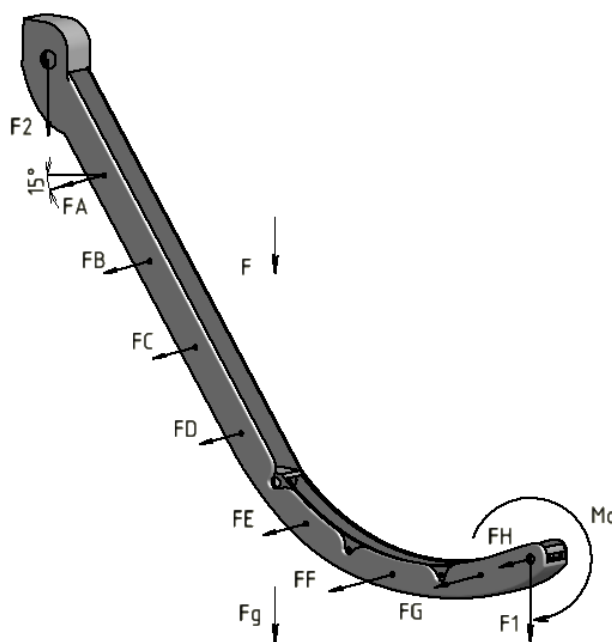


Obr. 12 Návrh konečné varianty konstrukce v otevřené poloze



Obr. 13 Návrh konečné varianty konstrukce v uzavřené poloze

6. Stanovení zatížení sušáku



Obr. 14 Stanovení sil

Zátěž suchého prádla je v našem případě $F_{spr} = 6 \text{ kg} = 60 \text{ N}$. Předpokládáme s 30% váhy namočeného prádla navíc $F_{mpr} = 6 \cdot 1,6 = 9,6 \text{ kg}$. Síla F je dána vlastní hmotností sušáku cca $F_s = 4 \text{ kg} = 40 \text{ N}$. Tíhová síla $F_g = 186 \text{ N}$. Ve výpočtu předpokládám s nejhorší možnou variantou a to, s těžkým mokřím svetrem uprostřed tedy v 1/3 vzdálenosti od malé kladky k pantu, navíc k tomu počítáme se zátěží sušáku, která je navýšena vlivem nesymetrie či přetížení (např. zatížení tahem lidskou rukou, zavěšení dítěte). Přidala jsem tedy hodnotu $F_{ne} = 326 \text{ N}$. Materiál čepu je 17 027.6 s mezí kluzu $R_e = 490 \text{ MPa}$. Zvolená bezpečnost $K = 2,5$.

Síla $FA - FG$, tedy síly na jednotlivých otvorech (celkem 7 otvorů) jsou 20 N v 1/2 sušáku.

$$F_{ramene} = 20 \cdot 7 = 140 \text{ N}$$

$$F_{otoč.ramene} = F_{ramene} + \frac{F_g}{2} = 140 + 93 = 233 \text{ N}$$

Celkem jsou dvě ramena. Sušák je tedy celkově zatížen 466 N .

Hmotnost prádla a sušáku je: $F_c = F_{mpr} + F_s = 96 + 40 = 136 = 140 \text{ N}$

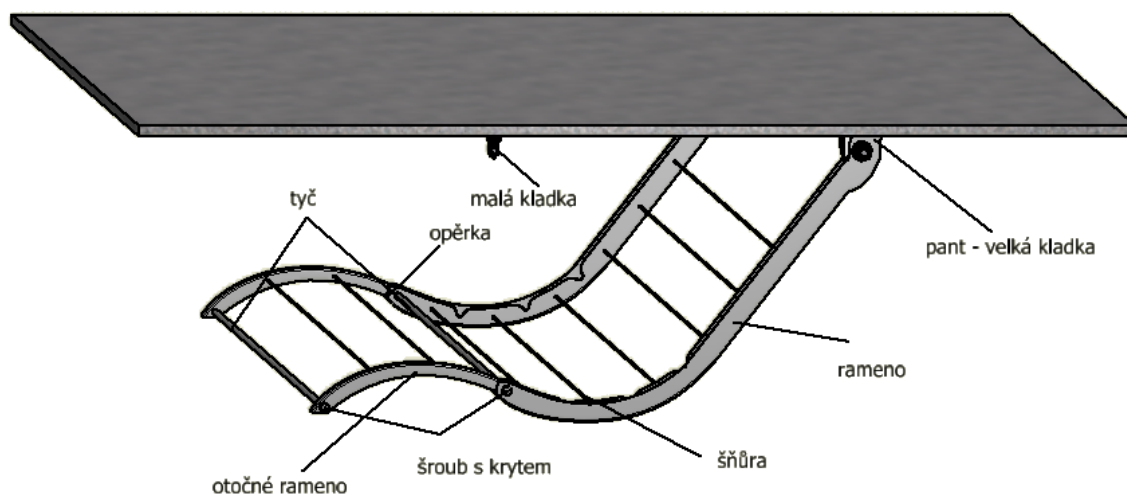
Předpoklad:

$$F_1 = \frac{\frac{2}{3} F_g}{2} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 186}{2} = 62 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{\frac{1}{3} F_g}{2} + F_{zbytkové} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 186}{2} + 93 = 124 \text{ N}$$

7. Návrh koncepce řešení

Nosné prvky sušáku jsou kladky, pro které je důležité provést pevnostní kontrolu. Dalším prvkem jsou tyče, které se kontrolovaly na vzpěr.



Obr. 15 Popis konstrukce

7.1. Návrh průměru čepu

Čep (Obr. 15) je součást, která spojuje rameno a vzpěru. Umožňuje, aby se rameno mohlo pootáčet a tím přenášelo tlačnou sílu a zvedalo pracovní plochu do požadované výšky.

Čep je navrhován z rovnice pro ohybové napětí:

Návrhový výpočet průměru čepu je proveden pro předpoklad ohybového namáhání čepu. K tomu může dojít při velkých vůlích v konstrukci spoje. V ideálním případě bude čep namáhán na střih a otláčení, což je příznivější namáhání z hlediska únosnosti čepu.

Ohybové napětí z ohybového momentu:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{DOV}$$

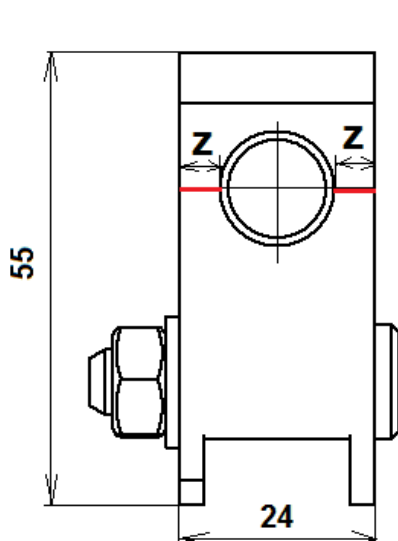
$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$M_o = F \cdot a$$

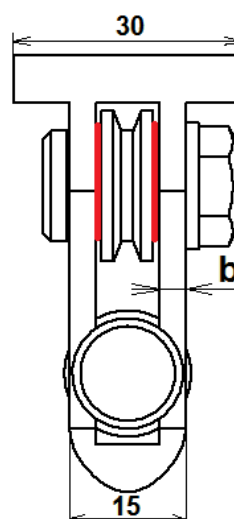
$$\frac{F \cdot a}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_D \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{F \cdot a \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}}$$

Dovolené napětí při statické bezpečnosti $K = 2,5$:

$$\sigma_{DOV} = \frac{R_e}{K} = \frac{490}{2,5} = 196 \text{ MPa} \quad (7.1.1)$$



Obr. 16 Malá kladka – nárys



Obr. 17 Malá kladka – bokorys

Zatěžující síla z vlastní hmotnosti sušáku a hmotností pověšeného mokrého prádla. Zátěž suchého prádla je $m = 6 \text{ kg}$ s tím, že předpokládáme s 30 % váhy prádla navíc, po vyprání.

Napětí v tahu: $z = 8$, $b = 3,333$

$$\sigma_t = \frac{F_1}{S} = \frac{F_1}{2 \cdot b \cdot 2 \cdot z} = \frac{62}{2 \cdot 3,333 \cdot 2 \cdot 8} = 0,581 \text{ MPa} \ll \sigma_D = 25 \text{ MPa} \quad (7.1.2)$$

Otlačení malé kladky: šířka kladky cca 8 mm, plocha na otlačení $S_2 = 8 \times 8 = 64 \text{ mm}^2$

$$p = \frac{F_1}{S_2} = \frac{62}{64} = 0,969 \text{ MPa} \ll p_{DOV} = 20 \text{ MPa} \quad (7.1.3)$$

Průměr čepu malé kladky pak bude:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{F_1 \cdot a \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt[3]{\frac{62 \cdot 8 \cdot 32}{\pi \cdot 196}} = 2,95 \text{ mm} \quad (7.1.4)$$

Z důvodu požadované tuhosti i estetiky spojů volím průměr čepu $d = 8 \text{ mm}$.

ČEP 8 x 22 DIN EN 22341 A A a ČEP 8 x 35 DIN EN 22341 A A

MATICE M8 x 1,25 DIN EN 24034

PODLOŽKA DIN 125-1 A A 8,4

Kontrola na stříh malé kladky:

Smykové napětí, plocha smyku a dovolené napětí ve smyku dle hypotézy H-M-H.

$$\tau_S = \frac{F_1}{S_1}$$

$$S_1 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 101 \text{ mm}^2 \quad (7.1.5)$$

$$\tau_{DOV} = \frac{0,566 \cdot Re}{K} = \frac{0,566 \cdot 490}{2,5} = 111 \text{ MPa} \quad (7.1.6)$$

Výpočet průměru čepu ze smykového napětí:

$$\frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} \leq \tau_D \rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 62}{\pi \cdot 111}} = 0,843 \text{ mm} \quad (7.1.7)$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_1 \cdot a}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{32}} = \frac{62 \cdot 8}{\frac{\pi \cdot 8^3}{32}} = 9,87 \text{ MPa} \quad (7.1.8)$$

Smykové napětí:

$$\tau_S = \frac{F_1}{S_1} = \frac{62}{101} = 0,619 \text{ MPa} \ll \tau_D \quad (7.1.9)$$

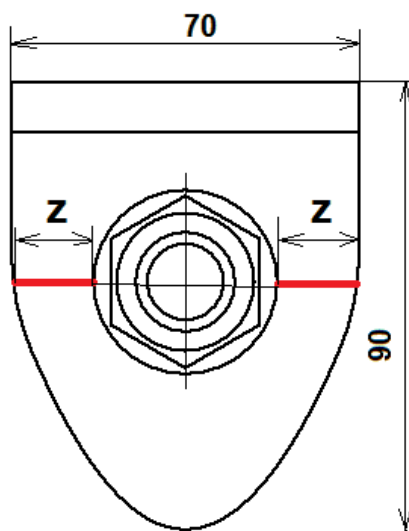
Redukované napětí dle H-M-H při kombinaci smykového i ohybového napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_S^2} = \sqrt{9,87^2 + 3 \cdot 0,619^2} = 9,93 \text{ MPa} \quad (7.1.10)$$

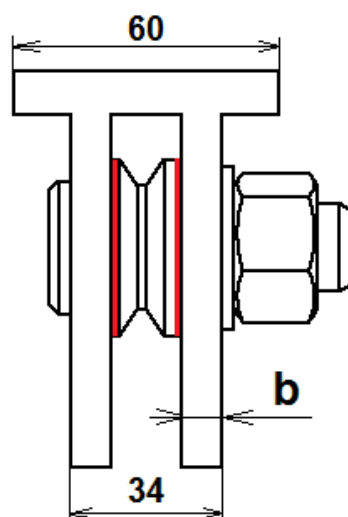
Statická bezpečnost k mezi kluzu materiál čepu je:

$$K = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{490}{9,93} = 49,35 \quad (7.1.11)$$

Z kontroly je patrné, že navržený čep vyhovuje. Zbylý čep je navržen totožně viz Obr. 18.



Obr. 18 Velká kladka – nárys



Obr. 19 Velká kladka – bokorys

Napětí v tahu: $z = 25 \text{ mm}$, $b = 9 \text{ mm}$

$$\sigma_t = \frac{F_2}{S} = \frac{F_2}{2 \cdot b \cdot 2 \cdot z} = \frac{116,5}{2 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 25} = 0,129 \text{ MPa} \ll \sigma_D = 25 \text{ MPa} \quad (7.1.12)$$

Otlačení velké kladky: šířka kladky cca 20 mm

plocha na otlačení $S_3 = 20 \times 25 = 500 \text{ mm}^2$

$$p = \frac{F_2}{S_3} = \frac{116,5}{500} = 0,233 \text{ MPa} \ll p_{DOV} = 20 \text{ MPa} \quad (7.1.13)$$

Průměr čepu malé kladky pak bude:

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{F_2 \cdot c \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt[3]{\frac{116,5 \cdot 20 \cdot 32}{\pi \cdot 196}} = 4,947 \text{ mm} \quad (7.1.14)$$

Z důvodu požadované tuhosti i estetiky spojů volím průměr čepu $d = 20 \text{ mm}$.

ČEP 20 x 65 DIN EN 22341 A A

MATICE M20 x 2,5 DIN EN 24034

PODLOŽKA DIN 125-1 A A 21

Kontrola na stříh velké kladky:

Smykové napětí, plocha smyku a dovolené napětí ve smyku dle hypotézy H-M-H.

$$\tau_S = \frac{F_2}{S_4}$$

$$S_4 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 628 \text{ mm}^2 \quad (7.1.15)$$

$$\tau_D = \frac{0,566 \cdot R_e}{K} = \frac{0,566 \cdot 490}{2,5} = 111 \text{ MPa} \quad (7.1.16)$$

Výpočet průměru čepu ze smykového napětí:

$$\frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} \leq \tau_D \rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_2}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 116,5}{\pi \cdot 111}} = 1,156 \text{ mm} \quad (7.1.17)$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_2 \cdot c}{\frac{\pi \cdot d_2^3}{32}} = \frac{116,5 \cdot 20}{\frac{\pi \cdot 20^3}{32}} = 2,97 \text{ MPa} \quad (7.1.18)$$

Smykové napětí:

$$\tau_S = \frac{F_2}{S_4} = \frac{116,5}{628} = 0,186 \text{ MPa} \ll \tau_D \quad (7.1.19)$$

Redukované napětí dle H-M-H při kombinaci smykového i ohybového napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_S^2} = \sqrt{2,97^2 + 3 \cdot 0,186^2} = 2,987 \text{ MPa} \quad (7.1.20)$$

Statická bezpečnost k mezi kluzu materiál čepu je:

$$K = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{490}{2,987} = 164 \quad (7.1.21)$$

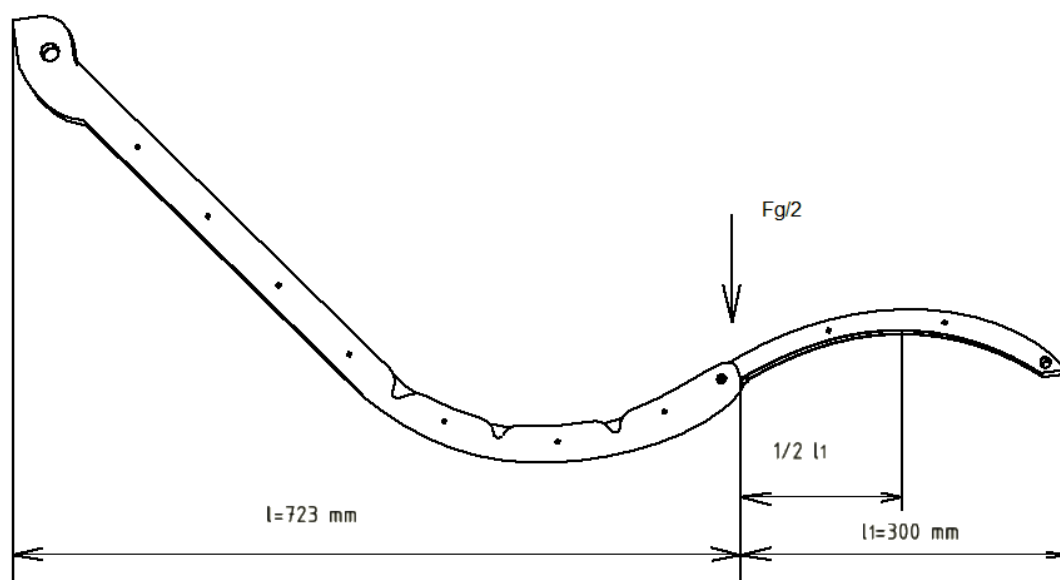
Z kontroly je patrné, že navržený čep vyhovuje.

7.2. Kontrola ramene

Kontrola ramene výpočtem napjatosti, zdali unese svou váhu a pověšení 5kg. Tyč má profil neuzavřený, skořepinový průřezový modul W_o se rovná součtu všech stran. Výpočet dle Steinerovy věty.

Ohybový moment:

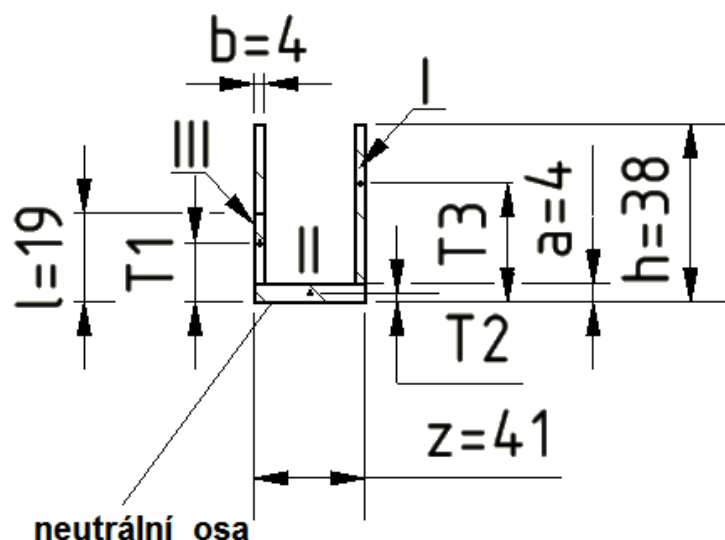
$$M_o = \frac{F_g}{2} \cdot l = \frac{183}{2} \cdot 150 = 13950 \text{ Nmm} \quad (7.2.1)$$



Obr. 20 Rameno sušáku na prádlo

Průřezový modul: pomocí Steinerovy věty: $IS_2 = IS_2' + S_2 \cdot e^2$, kde IS_2' je samotná plocha ke svému vlastnímu těžišti, S_2 plocha, e^2 vzdálenost těžiště od osy.

Můžu vypočítat moment setrvačnosti tělesa rotujícího kolem osy, která neprochází jeho těžištěm. Je tak například možné vypočítat moment setrvačnosti tělesa složeného z několika základních těles, stačí znát momenty setrvačnosti jednotlivých těles a vzdálenost jejich těžišť od těžiště složeného tělesa (Obr. 21).



Obr. 21 U profil

$$J^I = \frac{b \cdot h^3}{12} + h \cdot b \cdot \left(a + \frac{h}{2}\right)^2 = \frac{4 \cdot 38^3}{12} + 38 \cdot 4 \cdot \left(4 + \frac{38}{2}\right)^2 = 98698,7 \text{ mm}^4 \quad (7.2.2)$$

$$J^{II} = \frac{z \cdot a^3}{12} + a \cdot z \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{41 \cdot 4^3}{12} + 4 \cdot 41 \cdot \left(\frac{4}{2}\right)^2 = 874,7 \text{ mm}^4 \quad (7.2.3)$$

$$J^{III} = \frac{b \cdot l^3}{12} + b \cdot l \cdot \left(a + \frac{l}{2}\right)^2 = \frac{4 \cdot 19^3}{12} + 4 \cdot 19 \cdot \left(4 + \frac{19}{2}\right)^2 = 16137,3 \text{ mm}^4 \quad (7.2.4)$$

Celkový moment setrvačnosti složené plochy:

$$J^U = J^I + J^{II} + J^{III} = 98698,7 + 874,7 + 16137,3 = 115710,7 \text{ mm}^4 \quad (7.2.5)$$

Průřezový modul získáme, když celkový moment setrvačnosti podělíme vzdáleností nejvzdálenějšího vlákna:

$$W_o = \frac{J^U}{(h+a)} = \frac{115710,7}{(38+4)} = 2755 \text{ mm}^3 \quad (7.2.6)$$

Pak napětí v ohybu bude:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{DOV} = \frac{13950}{2755} = 5,06 \text{ MPa} < \sigma_{Dov} = 196 \text{ MPa} \quad (7.2.7)$$

7.3. Vzpěr tyče

Kritická síla a kritické napětí

Při osovém stlačování prizmatického prutu v mezích úměrnosti se velikost kritické síly F_{kr} určí z Eulerova vztahu. U zadaného materiálu dural počítám s těmito hodnotami modulu pružnosti v tahu $E = 70\,000\text{ MPa}$ a mezí úměrnosti $\sigma_U = 180\text{ MPa}$.

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{red}^2}$$

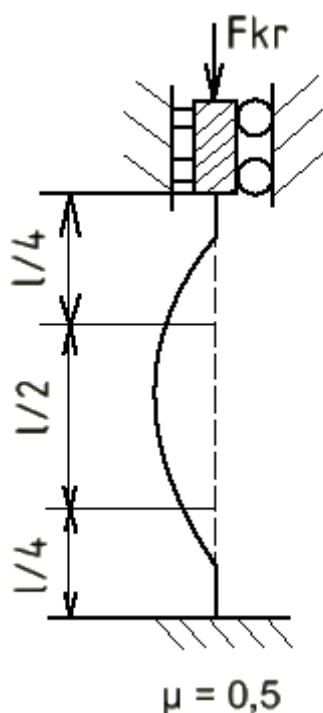
kde E je modul pružnosti v tahu materiálu prutu,

I je minimální moment setrvačnosti příčného průřezu prutu,

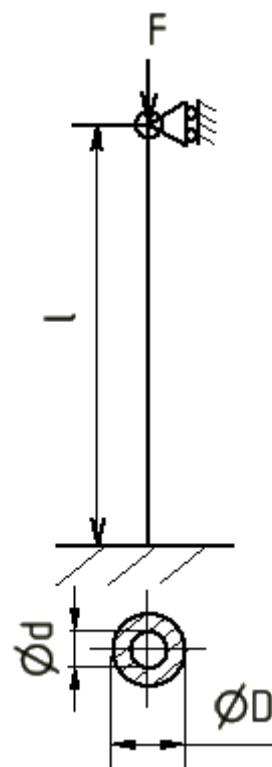
$l_{red} = \mu \cdot l$ je redukovaná (volná) délka prutu (délka, při níž prut s kloubově uloženými konci je vzhledem ke stabilitě ekvivalentní se zadaným uložením),

l je skutečná délka prutu,

μ je bezrozměrný délkový součinitel, závisející na způsobu uložení a zatížení prutu.



Obr. 22 Způsob uložení prutu



Obr. 23 Tyč

Při uvedeném způsobu uložení prutu je součinitel $\mu = 0,5$.

Kritické napětí:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad i \geq \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_U}} = \lambda_o$$

Kde $\lambda = l_{red}/i$ je štíhlost prutu (bezrozměrná veličina, charakterizující prut vzhledem k vybočení), i je minimální poloměr setrvačnosti příčného průřezu prutu S . Jelikož kritické napětí nesmí překročit mez úměrnosti materiál prutu σ_U , je hodnota štíhlosti λ .

Moment setrvačnosti mezikruhového průřezu prutu:

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (12^4 - 4^4) = 1005,3 \text{ m}^4 \quad (7.3.1)$$

Plocha příčného průřezu:

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (12^2 - 4^2) = 100,5 \text{ m}^2 \quad (7.3.2)$$

Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{1005,3}{100,5}} = 3,16 \quad (7.3.3)$$

Jelikož štíhlost (štíhlostní poloměr) vyhovuje, lze kritickou sílu vypočítat podle Eulerova vztahu:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i} = \frac{0,5 \cdot 1250}{3,16} = 197,78 > \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_U}} = \pi \sqrt{\frac{0,7 \cdot 10^5}{180}} = 61,95 \quad (7.3.4)$$

$$l_{red}^2 = (\mu \cdot l)^2 = (0,5 \cdot 1250)^2 = 390625 \quad (7.3.5)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{red}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0,7 \cdot 10^5 \cdot 1005,3}{390625} = 1778 \text{ N} \quad (7.3.6)$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S} = \frac{1778 \cdot 4000}{7 \cdot \pi} = 323403 \text{ Nm}^{-2} = 324 \text{ MPa} \quad (7.3.7)$$

Z kontroly je patrné, že navržený poloměr tyče i materiál vyhovuje.

8. Vizualizace v grafických programech

Tento model je vytvořen v programu ANSYS Workbench 14, který slouží k numerickému řešení fyzikálních problémů (průběhů napětí a deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla atd.). Program využívá Metoda konečných prvků (MKP) v praxi používaný nejčastěji především pro kontrolu již navržených zařízení, nebo pro stanovení kritického (nejnamáhavějšího) místa konstrukce.

Běžný postup při řešení úlohy pomocí MKP je:

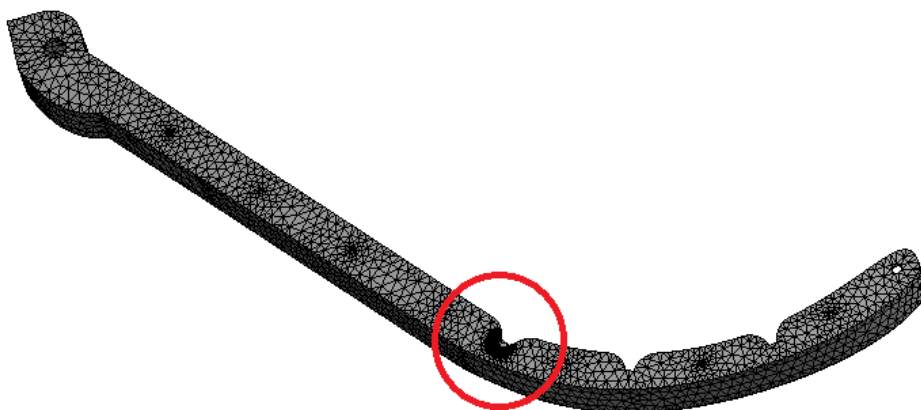
1. Pro vytvoření geometrického modelu byl použit program Autodesk Inventor Professional 2012. Výsledný model se pomocí importního formátu parasolid (.x_b) načetl do programu ANSYS Workbench 14.0. Sušák je na Obr. 15. Pro výpočet bylo použito jedno rameno sušáku, neboť předpokládáme, že zatížení je symetrické a na obě části stejné.

2. Zadání materiálu, v našem případě DURAL viz Tabulka 1.

Tabulka 1 Dural

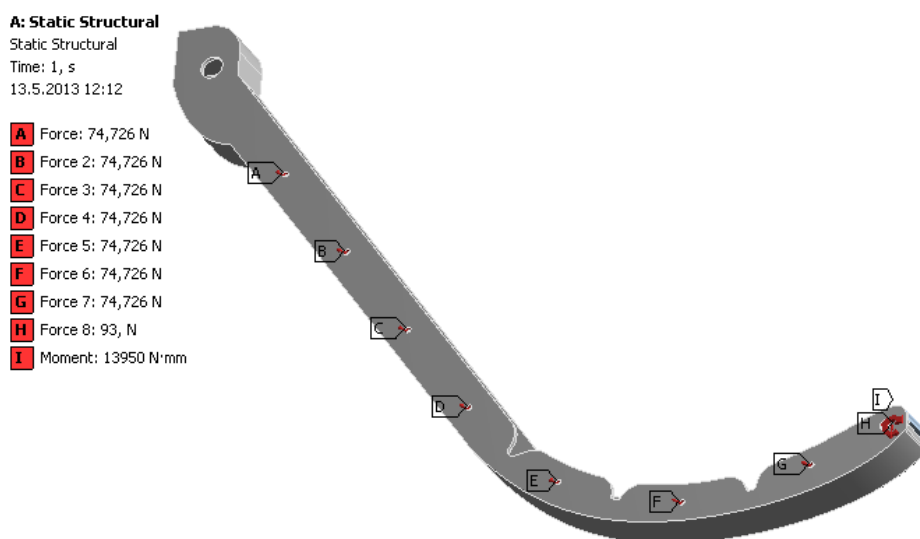
modulu pružnosti v tahu	$E = 70\,000\text{ MPa}$
mezí úměrnosti	$\sigma_U = 180\text{ MPa}$
Poissonovo číslo	$\eta = 0,31$

3. Vytvoření sítě konečných prvků pomocí automatického generátoru sítě (Mesh). Tato síť byla na základě předběžných výsledků (redukovaných napětí) zhuštěna v kritickém místě viz Obr. 24.



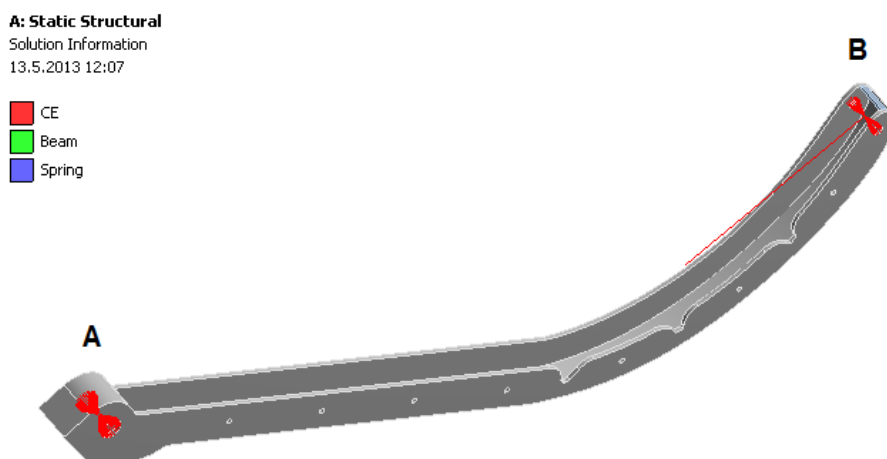
Obr. 24 Síť vytvořena v programu ANSYS

4. Zadání silových okrajových podmínek, do vybraných otvorů přidání síly od hmotnosti mokrého prádla viz Obr. 14 (Obr. 25 síla 1 – 7) a přidání zatížení druhého otočného ramena tedy sílu a moment viz Obr. 14 (Obr. 15 síla 8 a moment).



Obr. 25 Rozložení zatěžovacích sil

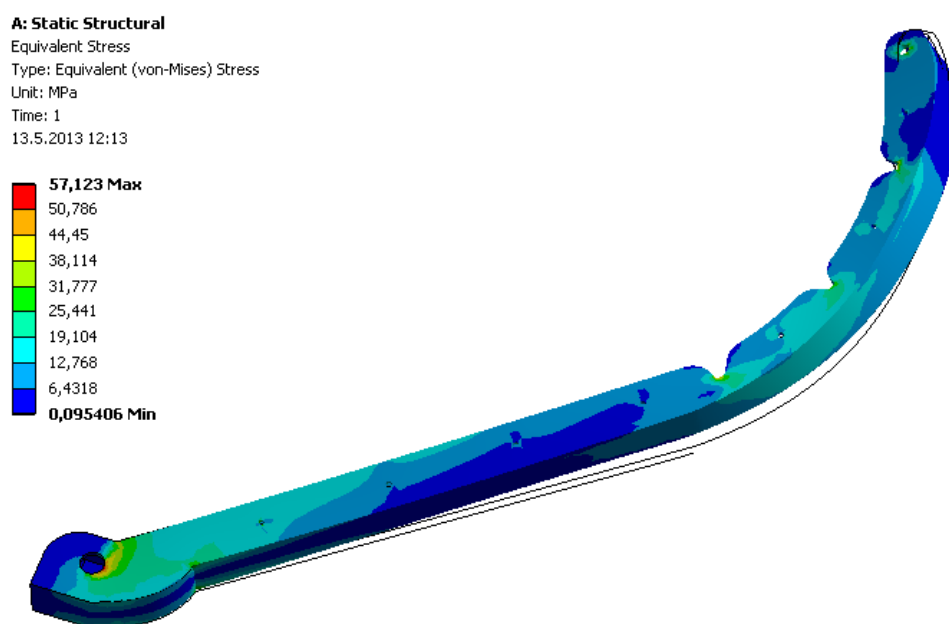
5. Zadání deformačních okrajových podmínek. V místě A je pevná kloubová vazba tzn., jsou zachyceny veškeré posuvy a rotace kromě jednoho čepu, po kterém se to otáčí. V místě B jsou zachyceny: posuv ve směru svislém (lanko), které to drží a posuv ve směru rozpěrné tyče.



Obr. 26 Deformační okrajové podmínky

6. Úlohu jsme řešila jako statickou, řešení proběhlo bez komplikací, bez chybových hlášení.

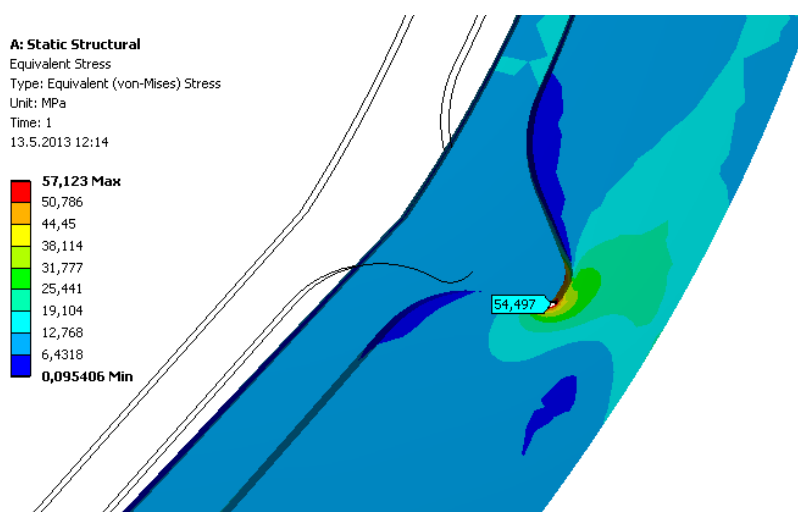
7. Výsledky řešení jsou zobrazeny ve formě obrázku, jaké se běžně používají u MKP.



Obr. 27 Řešení rozložení redukovaného napětí pomocí MKP metodou HMM

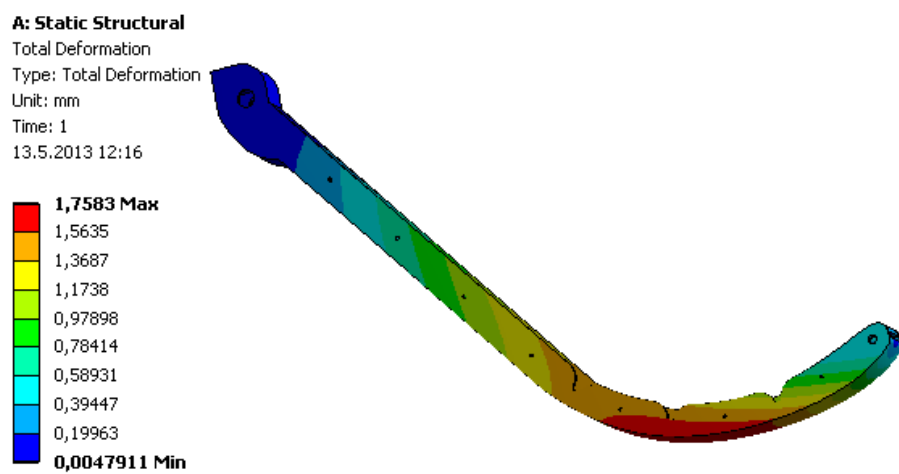
Zjistila jsem kritické místo uprostřed ramene v místě vybrání pro šňůry sklopných ramen, tedy v místě, kde se rameno nejvíce namáhá a deformuje, je zde maximální napětí o hodnotě 57,1 MPa (Obr. 28).

Pro jeho zmírnění bylo nutno přidat poloměry zaoblení a vytvořit podrobnější síť v tom místě, neboli okolo toho bodu. Dále byla v místě vrubu zhuštěna síť. Detailní pohled na kritické místo je na (Obr. 28).



Obr. 28 Řešení výsledného modelu ramene – detail

Na Obr. 29 jsou vykresleny deformace ramene při zatížení. Maximální hodnota deformace je cca 1,8 mm, což je plně vyhovující. Průhyb nebyl u sušáku hodnocen.



Obr. 29 Řešení výsledného modelu ramene – Deformace

9. Závěr

Úvod práce se věnuje stávajícímu trhu se sušáky na prádlo. Zaměřuje se na jejich rozdělení podle druhu konstrukce a použitých materiálů. Klade důraz na výhody a nevýhody daných řešení.

Dále se práce zabývá ergonomickou studií, ve které jsou zkoumány potřebné rozsahy výškového nastavení i velikosti pracovní plochy. Dále se věnuje optimalizaci rozměrů pracovní plochy a umístění ovládacích prvků. Ergonomická studie je zakončena na základě vlastní hodnotové analýzy navržené vhodné provedení sušáku na prádlo.

Následuje návrh koncepce řešení, kde prvotní návrh vychází z již existujících sušáků na trhu a typu navesného na strop. Následně jsou návrhy zdokonalovány a postupně eliminovány.

V další kapitole jsou představeny vizualizace modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor Professional 2012.

Ve výpočtové části byl proveden návrh čepů, které jsou zkontrolovány na tah, smyk a otláčení a kontrola napjatosti samotného ramene.

Cílem práce bylo navrhnout moderní řešení sušáku na prádlo určené pro domácí použití, který by splňoval veškeré požadavky, co jsou na trhu. Provést rešerši z dané oblasti skládající se z různých typů sušáků. Vytvořit konstrukční návrh sušáku a doplnit nezbytné pevnostní výpočty.

10. Seznam použité literatury

Použité publikace:

- (1) Leinveber, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky – první vydání*. Alba Úvaly, 2003. ISBN 80-86490-74-2
- (2) Král, M.: *Ergonomie a její technické využití v praxi II*. Alexandr Vávra- VAVA Ostrava, 1998. ISBN 80-86168-04-2
- (3) DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000.
- (4) BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I – Spoje*. VUT Brno, 1987.
- (5) NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismu strojů 2. vydání*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- (6) KRÍŽ, R.: *Strojnické tabulky II – Pohony*. Montanex a.s., Ostrava, 2002.
- (7) MIROLJUBOV, I. N., a kolektiv.: *Řešení úloh z pružnosti a pevnosti*. SNTL – NAK.TECH.LIT. Praha 1.

Použité internetové odkazy:

- (8) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:32]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/susak-na-pradlo-18-m-p-1658>
- (9) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:36]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/venkovni-susak-na-pradlo-linolift-500-p-11302>
- (10) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:36]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/susak-na-pradlo-pegasus-v-duo-teleskopicky-p-1654>
- (11) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:32]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/susak-na-pradlo-quartet-duo-teleskopicky-p-1722>
- (12) Internetové fórum. *KASA: obchod se spotřebním zbožím* [online]. 1999 [vid. 18. květen 2013, 23:39]. Dostupné z: <http://www.kasa.cz/susak-pradla-cev-5mp007-stropovy-130cm-ideal/>
- (13) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:32]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/susak-rollfix-210-bily-p-1663>

(14) LEIFHEIT, Günter. *Leifheit: obchod s domácími potřebami* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:32]. Dostupné z: <http://www.leifheit-online.cz/susak-na-pradlo-8-m-capri-p-1603>

(15) HYPERMEDIA a.s.. *HYPERMEDIA: Poskytují komplexní služby v rámci vývoje aplikací* [online]. 2003 [vid. 18. květen 2013, 23:43]. Dostupné z: <http://nabytek-bydleni.hyperinzerce.cz/zahradni-sestavy/inzerat/2290428-susak-na-pradlo-z-masivu-drevenu-nabytek-nabidka-vysocina/>

(16) COPYRIGHT ©. KASA: *obchod se spotřebním zbožím* [online]. 1999 [vid. 18. květen 2013, 23:39]. Dostupné z: <http://www.kasa.cz/susak-pradla-cev-5mp002-4-ramenny/>

(17) eBRÁNA s.r.o. *ALUPA: výrobky z hliníku a jeho slitin* [online]. 2013 [vid. 18. květen 2013, 23:46]. Dostupné z: <http://www.alupa.cz>

(18) KONDOR s.r.o.. *KONDOR: hutní materiály s nabídkou komplexních služeb* [online]. 2011 [vid. 18. květen 2013, 23:48]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz>

(19) KONDOR s.r.o.. *KONDOR: hutní materiály s nabídkou komplexních služeb* [online]. 2013 [vid. 18. květen 2013, 23:48]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz>

Použité grafické programy:

(20) Autodesk ® Inventor® 2012. Autodesk Inventor 2012 Professional [software]. [vid. 18. květen 2013, 23:59]. Dostupné z: <http://autodesk.com>

(21) ANSYS, INC. ANSYS Workbench Platform 14.0 [software]. [vid. 13. květen 2013, 12:12]. Dostupné z: <http://ansys.com>

11. Seznam příloh

1. výkres sestavení č. v. HAJ_0051_FS_00, název Sušák na prádlo
2. dílenský výkres č. v. HAJ_0051_FS_01, název Čep
3. dílenský výkres č. v. HAJ_0051_FS_02, název Kladka